

Matti Selkämaa

**TEKOÄLYN HYÖDYNTÄMINEN  
TERVEYDENHUOLLOSSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2020

# TIIVISTELMÄ

Selkämaa, Matti

Tekoälyn hyödyntäminen terveydenhuollossa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2020, 26 s.

Tietojärjestelmätiede, Kandidaatin tutkielma

Ohjaaja(t): Kyppö, Jorma

Tekoäly on nykypäivänä paljolti käytetty termi ja sillä uskotaan olevan merkittäviä positiivisia vaikutuksia erilaisille toimialoille sekä yhteiskunnan kriittisille toiminnoille. Tekoälyn juuret juontavat jo 1950-luvulle, jolloin pohdittiin mahdollisuutta ihmisen älykkyyttä matkivalle koneelle. Tekoälyä yleisesti ottaen pidetään yhtenä isoista tulevaisuuteen vaikuttavista asioista, joskin se vaikuttaa tälläkin hetkellä jo useilla eri sektoreilla. Näistä esimerkkeinä ovat: terveydenhuolto, sotateollisuus sekä autoteollisuus. Tekoälylle ei kuitenkaan vielä ole tällä hetkellä tieteellisesti hyväksyttyä ja yhdenmukaista määritelmää, vaikkakin sen määrittely on merkittävästi riippuvainen siihen oleellisesti liittyvistä teknologioista sekä käyttökontekstista. Oleelliset teknologiat, jotka tekoälyyn liittyvät ovat: neuroverkot, koneoppiminen ja syväoppiminen. Tekoäly on jo tällä hetkellä merkittävä teknologia terveydenhuollon sektorilla ja sitä pystytään hyödyntämään siellä monenlaisissa funktioissa. Näistä funktioista tekoälyn hyödyntämistä tapahtuu nykypäivänä eniten sairauksien diagnosointien saralla sekä yleisenä työkaluna esimerkiksi datan käsittelyssä ja sen tuottamisessa. Tämän kandidaatin-tutkielman tutkimusmenetelmänä on kirjallisuuskatsaus. Tarkoituksena tutkielmalla on tuottaa mahdollisimman kattava kuva tekoälystä teknologiana sekä sovellutuksena ja yleiskuva siitä, miten sitä hyödynnetään terveydenhuollon sektorilla.

Asiasanat: Koneoppiminen, Neuroverkot, Syväoppiminen, Tekoäly, Terveydenhuolto

## ABSTRACT

Selkämaa, Matti

Artificial Intelligence in medicine

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2020, 26 pp.

Information Systems Science, Bachelor's Thesis

Supervisor(s): Kyppö, Jorma

Artificial intelligence is an increased term used today and it is believed to have significant positive effects on various industries as well as on critical functions of society. The roots of artificial intelligence date back to the 1950s, since then started the idea for the possibility of a machine that could imitate human intelligence. In general, artificial intelligence is considered to one of the most meaningful things in the future, although it is currently affecting number of different sectors. Examples of these are: healthcare, the military industry, and the automotive industry. There is currently no correct or scientificly uniform definition for artificial intelligence, although it is defined by a significant dependence on essentially related technologies as well as the context of use. Relevant technologies, that are linked to artificial intelligence are: neural networks, machine Learning, and deep learning. Artificial intelligence is already a major technology in the healthcare sector and can be utilized there in a wide range of functions. Of these functions, the utilization of artificial intelligence today is most common in the field of disease diagnosis, as well as common tool for such as data processing and its production. Here, the research method of the bachelor's thesis is a literature review. The meaning for this study is to create the most comprehensive picture possible on artificial intelligence as a technology and application, and how it is utilized in the healthcare sector.

Keywords: Machine learning, Neural networks, Artificial intelligence, Health care

## KUVIOT

KUVIO 1 Turingin testi .....	9
KUVIO 2 Monikerroksinen perseptroniverkko .....	11
KUVIO 3 Monikerroksinen neuroverkko .....	14

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
KUVIOT .....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 TEKOÄLY.....	8
2.1 Tekoälyn määritelmä.....	10
2.2 Neuroverkot .....	11
2.3 Koneoppiminen.....	12
2.4 Syväoppiminen .....	13
3 TEKOÄLY TERVEYDENHUOLLOSSA .....	16
3.1 Tekoäly diagnostiikan työkaluna .....	17
3.2 Tekoälyn terveydenhuollon työkaluna .....	18
4 YHTEENVETO .....	20
LÄHTEET .....	23

# 1 Johdanto

Tekoäly on termi, joka on tullut hyvinkin tutuksi viimeisten vuosikymmenten aikana. Kuitenkin kyseinen teknologia on ollut olemassa jo 1950-luvulta saakka, modernien tietokoneiden aikakauden alusta. Tekoälyn osalta oli tämän jälkeen hiljaisempia vuosikymmeniä rahoituksen puuttuessa tutkimuksesta (Halenlein & Kaplan 2019). Tämän jälkeen sen sovellutukset ovat ilmestyneet jokapäiväiseen elämään nopeasti ja kiinnostus sen tutkimusta kohtaan on kasvanut merkittävästi. Tekoälyn potentiaalia on pidetty merkittävänä ja sen uskotaan implementoituvan lähes jokaiselle yhteiskunnan sektorille seuraavien vuosikymmenten aikana. Tekoälyä on kuitenkin pitkään vaivannut puutteet sen määrittelyssä käsitteenä ja se on tästä syystä saattanut muodostua monelle hyvin abstraktiksi asiaksi. Kuten tämäkin tutkimus osoittaa, sen yksiselitteinen määrittely on edelleenkin hankalaa. Tekoäly on kuitenkin jo saanut voimakkaan jalansijan monelta eri toimialalta sekä sektorilta, mutta selkeästi isoin potentiaali nähdään sen käyttämisessä terveydenhuollon piirissä. Hamet & Tremblay (2017) näkevät, että terveydenhuollon organisaatiot, jotka kykenevät hyödyntämään tekoälyä, hyötyvät myös siitä merkittävästi. Nykyaikaisella lääketieteellä on edessään suuri haaste hankkia, analysoida ja soveltaa suurta määrää tietoa kliinisten ongelmien ratkaisemiseksi (Ramesh ym., 2004).

Kuten tässä tutkimuksessa osoitetaan sekä yksilön, että organisaation kannalta tekoälyllä on merkittävä vaikutus monessa eri funktiossa terveydenhuollon parissa. Patel ym., (2009) esittävät artikkelissaan, että kuviin ja molekyyleihin perustuvat diagnoosit ovat jo standardeja, kun halutaan saada potilaasta tarkempi diagnoosi. Diagnostiikkaan liittyen tekoälyn parissa on otettu valtavia harppauksia, kun on opittu hyödyntämään tekoälyä ja sen yhteydessä toimivia teknologioita ratkaisuja.

Diagnostiikka ei suinkaan ole ainoa osa-alue terveydenhuollon parissa missä tekoälyä pystytään hyödyntämään, kuten tämä tutkimus tulee osoittamaan. Tekoälyn pystytään käyttämään hyödyksi esimerkiksi mittauksissa, ennustamisessa tai työn tehostamisessa. Tämän tutkimuksen tavoitteena on antaa yleiskuva lukijalle siitä, mitä tekoäly on ja minkälaisia teknologioita siihen olennaisena osana kuuluu. Tutkimuksen tavoitteena on myös antaa kattava kuva siitä,

miten tekoälyä nykyisin pystytään hyödyntämään terveydenhuollon parissa ja minkälaisia sovellutuksia siitä on käytössä. Tarkoituksena on lisätä yleistä tietoisuutta lukijaa hyödyttävällä tavalla. Tutkimus voi esimerkiksi toimia materiaalina terveydenhuollon parissa toimivalle ammattilaiselle, jolla ei ole vielä tietotaitoa tekoälyyn liittyen.

Tutkimuskysymys on:

## 1. Miten tekoälyä hyödynnetään terveydenhuollossa?

Tämän lisäksi on asetettu alatutkimuskysymyksiä helpottamaan tutkimusongelmaa:

1.1 Mitä on tekoäly?

1.2 Mitä tekoäly sovellutuksia käytetään terveydenhuollossa?

Tutkielman toisessa luvussa käsitellään tekoälyä, siihen liittyvää historiaa ja oleellisia teknologioita. Näitä ovat esimerkiksi Koneoppiminen, Neuroverkot ja Syväoppiminen. Luvun tarkoituksena on antaa mahdollisimman kattava ja helposti ymmärrettävä kuva käsiteltävistä asioista. Luku on tärkeä ymmärtää, jotta kolmas luku olisi lukijalle mahdollisimman hyödyllinen. Kolmannessa luvussa tullaan käsittelemään kattavasti tekoälyn nykyisiä sovellutuksia terveydenhuollon toimialalla. Ensimmäinen kappale käsittelee tekoälyä terveydenhuollon näkökulmasta ja perehdyttää lukijan aiheeseen. Toinen luku on tekoälyn käyttämisestä diagnostiikan näkökulmasta ja viimeinen luku tekoälyn käyttämisestä yleisenä työkaluna terveydenhuollossa. Viimeinen luku on kirjallisuuskatsauksen yhteenveto ja pohdintaa tutkimuksen tuloksista, tutkimuksen tekemisestä ja mahdollisista jatkotutkimusaiheista.

Tutkimus on toteutettu kirjallisuuskatsauksena ja siinä on hyödynnetty tietojärjestelmätieteen tieteellistä kirjallisuutta. Kirjallisuutta on etsitty käyttämällä seuraavia hakusanoja "Tekoäly", "Artificial Intelligence", "Koneoppiminen", "Machine Learning", "Neuroverkot", "Neural networks", "Medicine", "Healthcare" ja näistä syntyneitä yhdistelmiä, kuten esimerkiksi "Artificial Intelligence in medicine". Kirjallisuutta sekä aineistoa on etsitty tietojärjestelmätieteen tietokannoista, kuten IEEE Xplore, Elsevier, ACM, MIS Quarterly, Artificial Intelligence in Medicine. Näiden lisäksi on käytetty hyväksi jo löydettyjen artikkeleiden lähdeluetteloita sekä Google Scholar hakukonetta.

## 2 Tekoäly

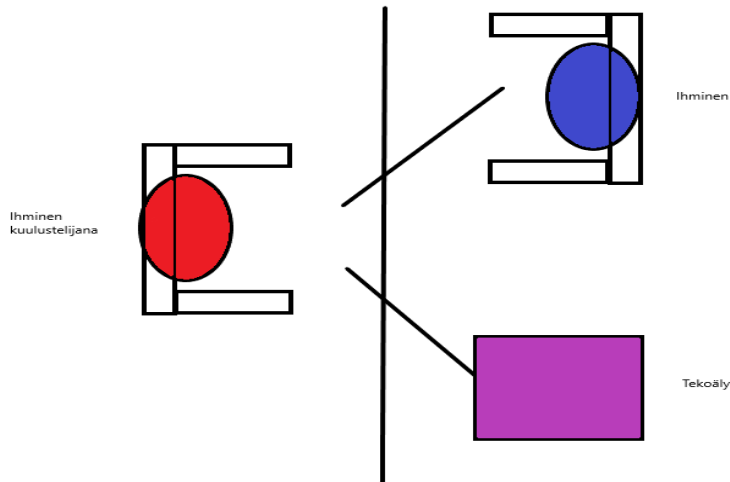
Tässä sisältöluvussa tullaan käsittelemään tutkimuksessa käsitteenä olevaa tekoälyä yleisellä tasolla sekä myös sen fundamentaalisten osien kautta. Näihin oleellisiin osiin lukeutuvat neuroverkot, koneoppiminen sekä syväoppiminen. Luku tulee käsittelemään tekoälyn historiaa, sen määritelmiä sekä nykyistä tilannetta ja se pitää sisällään tekoälyyn keskeisesti liittyvät käsitteet sekä toiminnot. Tämä luku on tärkeä ymmärtää, jotta voi saada käsityksen siitä mitä tekoäly on ja mitä siihen oleellisesti liittyy. Näin myös tulevien sisältölukujen ymmärtäminen on huomattavasti helpompaa ja hyödyllisempää.

Koneen rakentamisella, joka osaa ajatella kuten ihminen on pitkät perinteet. (Genesereth & Nilsson, 1987). Tällaisia sovellutuksia on ollut jo useamman vuosikymmenen ajan. Tekoäly sovelluksena on muodostunut 1940- ja 1950-luvulla uusien modernien tietokoneiden aikakaudella (Patterson, 1990). Tuohon aikaan tutkijat kykenivät kirjoittamaan tietokoneohjelmia, jotka pystyivät tekemään perustason päättelyitä, vastaamaan yksinkertaisiin kysymyksiin ja pelaamaan pelejä kuten shakki tai tammi (Genesereth & Nilsson, 1987). Tekoälyn juuret ovat monelta eri tieteenalalta, kuten esimerkiksi; filosofia, luonnontieteet sekä tietojenkäsittelytiede (Borana, 2016). Omaksi akateemiseksi ympäristöksi tekoäly muodostui 1950-luvulla (Haenlein & Kaplan, 2019).

Brittiläinen matemaatikko Alan Turing esittää tutkimusartikkelissaan niin sanotun Turingin testin (kuvio 1), vaihtoehtona kysymykselle: "Voivatko koneet ajatella?" (Turing, 1950). Tätä on tietyissä ääripäissä pidetty tekoälyn aikakauden alkamisena ja Turingin testiä on pidetty ultimaattisena testinä itse tekoälylle (Akman, Cicekli & Saygin, 2000). Testissä pyritään määrittelemään, onko jossain keinotekoisessa ympäristössä älykkyyttä (Haenlein & Kaplan, 2019). Turingin testissä toisessa huoneessa oleva ihminen kysyy kysymyksiä tekstimuodossa, toisessa huoneessa olevalta ihmiseltä sekä koneelta (Akman ym., 2000). Haastattelija ei näe toiseen huoneeseen ja jos haastattelija ei pysty tunnistamaan tekstimuotoisten vastauksien perusteella kumpi on ihminen ja kumpi kone, on kone läpäissyt testin (Akman ym., 2000).

Vuonna 1956 Yhdysvaltojen Dartmouthissa järjestetyssä konferenssissa tekoälyä alettiin virallisesti kutsumaan kyseisellä termillä (Buchanan, 2005). Buchananin (2005) mielestä tällä vuosikymmenellä esiteltiin jo hyviä mahdollisia algoritmeja ja muita matemaattisia sovellutuksia tekoälyyn liittyen, mutta aikakautta vaivasi varsinaisten työkalujen laskentatehottomuus, näiden edellä mainittujen innovaatioiden täyden potentiaalin lunastamiseen (Buchanan, 2005). Nämä kuitenkin loivat merkittävän pohjan myöhemmälle tekoälyn kehitys- ja tutkimustyölle (Buchanan, 2005.)





KUVIO 1 Turingin testi (Borana 2016, s. 65)

1950-luvulta lähtien tekoälyn kehitys ja tutkimustyö kuitenkin kukoisti yli kaksi vuosikymmentä (Haenlein & Kaplan, 2019). Vuosien 1964 ja 1966 välissä kehitettiin esimerkiksi ELIZA niminen tietokoneohjelma, joka kykeni simuloimaan ihmisten välistä keskustelua ja tämä ohjelma läpäisi edellä mainitun Turingin testin helposti (Haenlein & Kaplan, 2019). Näiden läpimurtojen jälkeen seurasi kuitenkin pitkä ajanjakso, minkä aikana tekoälyn kehitystyö hidastui merkittävästi. Artikkelissaan Haenlein & Kaplan (2019) mainitsevat, että vuonna 1973 useiden erinäköisten syiden takia, Yhdysvaltojen sekä Iso-Britannian hallitus kritisoi voimakkaasti tekoälyn tutkimusta ja kehitystyötä, joka lopulta pysäytti positiivisen kehityksen useamman vuosikymmenen ajaksi rahoituksen puuttuessa tutkimustyöstä. (Haenlein & Kaplan, 2019).

Seuraava iso läpimurto tekoälyn saralla nähtiin vasta 1997, kun IBM nimisen yrityksen kehittämä Deep Blue niminen supertietokone voitti sen hetkisen maailman parhaan shakin pelaajan Garry Kasparovin (Hassabis, 2017). Tämän jälkeen tekoälyn parissa on otettu isoja kehitysaskelleita. Vuonna 2005 Yhdysvaltojen asevoimien tutkimusorganisaation järjestämässä kilpailussa Stanley niminen autonominen auto ajoi 212 kilometrin matkan tekoälyä hyväksi käyttäen ilman ihmistä kuskinaan (Buchanan, 2005).

Haenlein & Kaplan (2019) esittävät artikkelissaan, että erittäin suuri saavutus tekoälyn kehityksen parissa saavutettiin vuonna 2015, kun Google nimisen yhtiön luoma AlphaGo niminen tekoälyohjelma voitti Go nimisessä lautapelissä maailman parhaan pelaajan. Saavutusta pidetään arvossaan, koska Go on huomattavasti vielä monimutkaisempi lautapeli kuin shakki (Haenlein & Kaplan, 2019).

## 2.1 Tekoälyn määritelmä

Nilsson (1980) esittää, että moni ihmisen ajatustyö, kuten esimerkiksi tietokoneohjelman kirjoittaminen, laskujen laskeminen, järkeily, asioiden ymmärtäminen sekä kielten opiskelu vaativat älykkyyttä. Nilsson toteaa myös, että tällaista älykkyyttä vastaavia tietokonejärjestelmiä on tehty jo useita vuosikymmeniä, jotka pystyvät esimerkiksi diagnosoimaan sairauksia, laskemaan monimutkaisia orgaanisia kemiallisia yhdisteitä, ratkomaan matemaattisia yhtälöitä sekä ymmärtämään tietyn määrän puhuttua puhetta tai kirjoitettua tekstiä (Nilsson, 1980). Täten, voidaan todeta, että tekoälyn tutkiminen on älykkään käyttäytymisen tutkimista (Genesereth & Nilsson, 1987).

Määrittelyn parista löytyy myös erilaisia esimerkkejä. Borana (2016) taas artikkelissaan esittää, että tekoäly on ihmisen älyllistä toimintaa matkiva ja ongelmanratkaisuja tuottava keinotekoinen kokonaisuus, joka lähtökohtaisesti on aina kone tai tietokone. Artikkelissa myös todetaan, että tekoäly on tietojenkäsittelytieteen ja fysiologian integraatio (Borana, 2016). Oleellista on myös piirteiden määrittely. Yhtenä tekoälyn ominaispiirteenä voidaan pitää myös sitä, että se oppii tiettyjä asioita huomattavasti nopeammin mitä ihminen (Genesereth & Nilsson, 1987). Yksi tekoälyn määritelmä taas on, että se on tietokoneen kykyä simuloida ihmisen ajatteluprosesseja, joka perustuu huomattaviin tietomääriin sekä hienostuneisiin algoritmeihin ja korkeaan laskentatehoon (Krittanawong ym., 2018). Kononenko (2001) taas väittää, että tekoäly on osa tietojenkäsittelytiedettä, joka yrittää tehdä tietokoneita älykkäimmiksi.

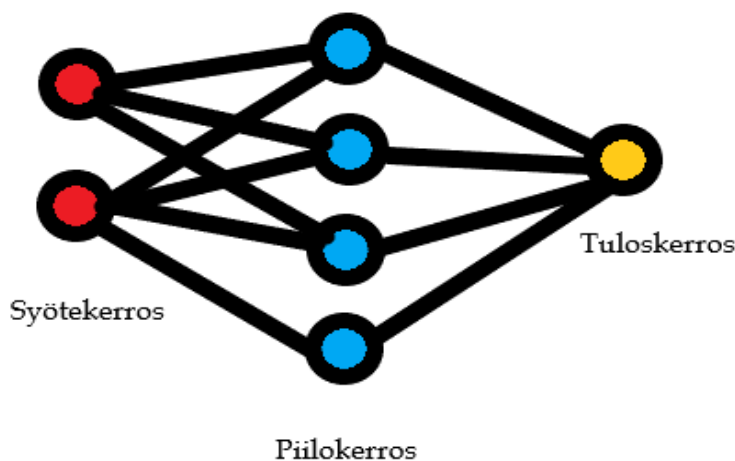
Visvikis, Cheze Le Rest, Jaouen, & Hatt (2019) väittävät, että tekoälyllä on kyky tulkita oikein ulkopuolelta siihen syötettyä dataa, oppia tästä datasta ja hyödyntää tätä oppimaansa tiettyjen tavoitteiden saavuttamiseksi sekä kyky sopeutua joustavasti uusissa tilanteissa (Visvikis ym., 2019). Ahmad (2017) väittää, että tekoälyn kehittäminen alkaa älykkään järjestelmän kehityksestä, joka jatkuu tietopohjaisen järjestelmän kehittämisen kautta laskennallisen tekoälyn muodostumiseen. Älykäs järjestelmä matkii ihmisen käyttäytymistä, kun taas tietopohjainen sekä laskennallinen tekoäly imitoivat ihmisen tapaa ajatella (Ahmad, 2017.) Tekoälyyn liittyy myös oleellisesti sen ympärillä oleva tieteellinen tutkimus. Tekoälytutkimuksen päätehtävä on rakentaa älykkäitä tietojenkäsittelyteorioita ja suunnitella sitten sellaisia tietojärjestelmiä, jotka kykenevät demonstroimaan samankaltaista älykkyyttä, kuin ihminen (Xian, 2010).

Liu & Tang (2018) taas esittävät, että tekoälyä tutkiva tiede pitää sisällään robotteja, kielentunnistusta, kuvan tunnistamista, luonnollisen kielen käsittelyä ja mallintamista sekä asiantuntijajärjestelmiä.

## 2.2 Neuroverkot

Ihmisen hermosto on hermosolujen verkko, joista jokaisella on sooma ja aksoni sekä näiden välillä vaikuttava synapsi (McCulloch & Pitts, 1943). Illingworth (1989) mainitsee artikkelissaan, että 1950-luvun alussa tutkijat simuloivat hermostosta löytyviä toimintoja, joita implementointiin tietokoneohjelmistoihin sekä fyysisiin laitteistoihin. Artikkelin mukaan nämä toiminnot käyttivät prosessointiin liittyviä elementtejä ja useat näistä elementeistä kytkettiin verkkoon, josta juontuu kyseisen ilmiön kuvailu termillä neuroverkko (Illingworth, 1989). Dayhoff & DeLeo (2001) väittävät, että biologisten hermosolujen innoittamat keinotekoiset neuroverkkomallit sisältävät kerroksia ja yksinkertaisia laskentasuorituksia, jotka toimivat epälineaarisenä summauslaitteena. Yleisesti ottaen syöttöhermot aktivoituvat ympäristöä seuraavien anturien kautta (Schmidhuber, 2015). Prosessointia suorittavat elementit voivat olla vuorovaikutuksessa toistensa kanssa usealla eri tavalla riippuen siitä, miten ne ovat kytkettynä toisiinsa (Lupo, 1989).

Yleinen neuroverkko koostuu useista yksinkertaisista prosessoreista, jotka ovat yhteydessä toisiinsa aktivoinnin kautta. (Schmidhuber, 2015). Vuorovaikutuksessa jokainen yksikkö on yksinkertaistettu malli todellisesta hermosolusta, joka lähettää signaalin saamalla riittävän voimakkaan tulosignaalin muista soluista, joihin se on kytketty (Awodele & Jegede, 2009). Yleisin keinotekoisien hermoverkon tyyppi koostuu kolmesta yksiköiden ja kerroksen ryhmästä, joihin kuuluvat: syötekerros, piilokerros sekä tuloskerros. Yksi esimerkki tästä on monikerroksinen perseptroniverkko (kuvio 2). Perseptroni on luonnosta inspiraation saanut algoritmi binääriluokitusta varten, joka on yksi varhaisimmista ehdotetuista neuroverkoista (Ravi ym., 2017).



KUVIO 2 Monikerroksinen perseptroniverkko

Awodele & Jegede (2009) määrittelevät artikkelissaan, että syötekerroksen toiminta edustaa verkkoon syötettyä raakatietoa ja piilokerroksen yksiköiden

aktiivisuus määräytyy syötekerroksen toiminnan perusteella sekä näiden kerrosten yhteyksien painojen mukaan. Tuloskerroksen käyttäytyminen riippuu taas piilokerroksen aktiivisuudesta sekä myös näiden kahden kerroksen yhteyksien painojen mukaisesti (Awodele & Jegede, 2009). Monikerroksisia perseptroni-verkkoja käytetään usein malleina sellaisissa järjestelmissä, jossa taustalla olevat suhteet ovat huonosti tunnettuja tai erittäin monimutkaisia. (Saxén & Pettersson, 2006). Awodelen & Jegeden (2009) mukaan neuroverkkoihin liittyy myös olenaisesti sumea logiikka. Sumean logiikan päättelyketjut ovat pituudeltaan lyhyitä ja siinä tarkkuudella ei ole niin suurta roolia, kuin klassisissa loogisissa järjestelmissä. (Zadeh, 1988). Toisin kuin klassiset loogiset järjestelmät, sumean logiikan päättelyprosessit ovat pikemminkin laskennallisia kuin symbolisia. (Zadeh, 1991).

### 2.3 Koneoppiminen

Moni varmasti tänä päivänä allekirjoittaa sen, että älykkyyttä ei voi syntyä ilman oppimista. Näin ollen koneoppiminen on yksi tärkeimmistä tekoälyn osaluista (Kononenko, 2001). Oppiminen on tärkeää tekoälyn käytännön sovellustusten kannalta (Luger, 2005) Kononenko (2001) mainitsee artikkelissaan, että jo 1950- ja 1960-luvulla tietokoneiden myötä kehitetyt algoritmit kykenivät mallintamaan ja analysoimaan isoja määriä dataa. Tähän perustuu myös koneoppimisen hyödyntäminen eri funktioissa. Artikkelissaan Voyant ym., (2017) mainitsevat, että koneoppimista voidaan hyödyntää esimerkiksi kuvioiden tunnistamisessa, luokittelu ongelmassa, datan louhinnassa sekä ennustamiseen liittyvissä ongelmassa. Parmar, Grossmann, Bussink, Lambin & Aerts mainitsevat (2015), että koneoppimisella yleisesti ottaen tarkoitetaan tietokoneissa toimivia malleja/metodeja, jotka kokemuksen (datan) myötä kykenevät parantamaan suoritusta tai tekemään tarkkoja ennustuksia. Koneoppiminen on laskennalliseen tietotekniikan haara, joka on omistettu tietokoneohjelmia mahdollistavien algoritmien kehittämiseksi. (Clayton ym., 2018). Koneoppiminen tänä päivänä tarjoaa korvaamattomia työkaluja älykkääseen datan analysointiin (Kononenko, 2001). Hamet & Tremblay (2017) esittävät koneoppimiseen kolme keskeisesti liittyvää erilaista tapaa oppimiselle, jotka käydään seuraavaksi läpi.

Ohjatulla oppimisella tarkoitetaan mallia, missä tietokoneelle annetaan syötteitä sekä niihin liittyvät halutunlaiset tulosteet ihmisen toimesta (Voyant ym., 2017). Luokittelu ja ennustaminen perustuvat annettuihin esimerkkeihin (Hamet & Tremblay, 2017). Ohjatussa oppimisessa siis tietokoneelle annetaan valmiiksi halutunlainen lopputulos ja oppiminen on täten valvottua (Maglogianis, 2007). Kyseisessä mallissa kukin objekti on pari toisilleen, joka sisältää syötöarvon ja halutun tulosarvon (Voyant ym., 2017). Ohjaamaton oppiminen on toinen koneoppimisessa yleisesti käytetyistä malleista. Toisin kuin ohjatussa oppimisessa, ohjaamattomassa oppimisessa ei käytetä haluttuja tulosteita, vaan tietokoneella on eri tehtävä (Vakharia, Gupta & Kankar, 2013). Tietokoneen algoritmit

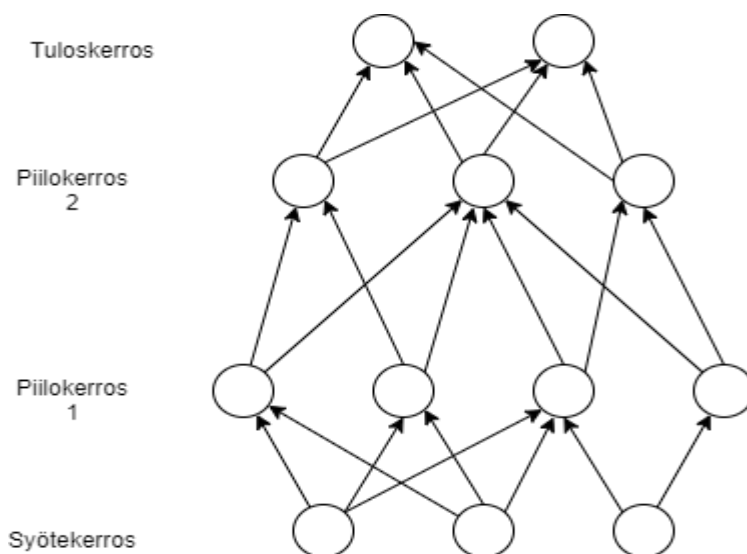
kykenevät löytämään piilotettuja rakenteita sen syötteistä ilman, että se tietää millaisia halutut tulosteet ovat (Voyant ym., 2017). Ohjattu oppiminen kykenee täten löytämään malleja (Hamet & Tremblay, 2017). Tämän kaltaiset järjestelmät oppivat itsestään ilman ohjattua valvontaa (Vakharia, Gupta & Kankar, 2013). Kolmas koneoppimiseen oleellisesti liittyvä malli on vahvistusoppiminen. Kaelbling, Littman & Moore (1996) esittävät, että vahvistusoppiminen tapahtuu koneoppimisen mallin ja ympäristön vuorovaikutuksen seurauksena. Hamet & Tremblay (2017) väittävät, että vahvistusoppimiseen liittyy palkintojen sekä rangaistuksien sekvenssi, joka muodostaa lopullisen strategian. Szepesvári (2010) taas väittää, että vahvistusoppiminen on oppimisparadigma, johon liittyy kyky oppia hallitsemaan kyseisessä kontekstissa vaikuttavaa järjestelmää. Vahvistusoppimisessa malli ymmärtää saadun syötteen vaikuttavan kyseiseen vallitsevaan tilanteeseen, joka taas vaikuttaa edelleen lopputulokseen (Kaelbling ym., 1996).

## 2.4 Syväoppiminen

Syväoppiminen on viime vuosien saatossa muodostunut koneoppimisen uudeksi trendiksi (Ravi ym., 2017). Teknologia pitää sisällään lupaavia moderneja tekniikoita kuvien prosessointiin sekä datan analysointiin (Kamilaris & Prenafeta-Boldu, 2018). Syväoppimisessa laskennalliset mallit oppivat tietoa useilla abstraktiotasoilla, koska ne koostuvat useista prosessointikerroksista (LeCun, Bengio & Hinton, 2015). Schmidhuberin (2015) mukaan syväoppiminen on ohittanut jo monet koneoppimisessa käytettävät mallit. Nämä menetelmät/mallit ovat merkittävästi parantaneet puheentunnistusta, kuvantunnistusta, objektien tunnistamista ja myös lääkekehitystä (LeCun, Bengio & Hinton, 2015). Tästä syystä moni syväoppimiseen pohjautuvat mallit ovat voittaneet kuvantunnistus kilpailuita vuodesta 2009 alkaen. (Schmidhuber, 2015). Vaikkakin syväoppimisen teoreettiset juuret ovat tiukasti neuroverkkojen kanssa yhteydessä, on näiden välillä myös eroavaisuuksia. Sengupta, Singh, Leopold, Gulati & Lakshminarayanan (2019) esittävät, että syväoppiminen on koneoppimisen kategoria, joka käyttää useita neuroverkkoja oppiakseen uusia asioita.

Syväoppimisessa otetaan huomioon enemmän piilossa olevia neuroverkkoja ja niiden kerroksia, joiden avulla syväoppimisen mallit saavat arkkitehtuuriin perustuvan edun (Ravi ym., 2017). Esimerkki tällaisesta on useamman kerroksen neuroverkko (kuvio 3). Artikkelissaan LeCun ym., (2015) esittävät, että syväoppimisen isona etuna on sen kyky löytää monimutkaisia rakenteita suurista tietojoukoista. Tämä perustuu siihen, että käyttämällä kehittyneitä algoritmeja se kykenee osoittamaan kuinka koneen pitäisi muuttaa sisäisiä parametrejaan, joita se käyttää kunkin neuroverkko kerroksen laskemiseen. (LeCun ym., 2015).

Syväoppimisessa syvät neuroverkot käyttävät hyödyksi sitä ominaisuutta, että monet luonnolliset signaalit ovat koostumushierarkioita, joissa korkeamman tason ominaisuuksia saadaan tiivistämällä alemman tason ominaisuuksia (LeCun ym., 2015). Syväoppimisessa useissa kerroksissa olevat neuronit mahdollistavat laajan kattavuuden raakatiedosta, jossa jokaisen alemman kerroksen projektio vastaa korkeammalle tasolle (Ravi ym., 2017). Siirtyäkseen yhdestä kerroksesta toiseen, yksikköjoukko laskee painotetun summan syötteistään ja välittää tuloksen epälineaarisen funktion läpi. (LeCun ym., 2015). Nämä syväoppimisessa käytetyt monimutkaiset mallit voivat lisätä luokituksen tarkkuutta tai vähentää virheitä regressio-ongelmissa. (Kamilaris & Prenafeta-Boldu, 2018).



KUVIO 3 Monikerroksinen neuroverkko (LeCun ym., 2015, s.437)

Esimerkiksi lääketieteellisessä kuvantamisessa syväoppiminen voi tuottaa ominaisuuksia, jotka ovat kehittyneempiä ja vaikeita kehittää muilla tavoilla. (Ravi ym., 2017). Syväoppimiseen perustuvassa kuvantamisessa paikalliset yhdistelmät reunoista muodostavat motiiveja, motiivit kootaan osiksi ja nämä osat muodostavat esineitä. (LeCun ym., 2015). Lisäämällä piilotettuja kerroksia neuroverkkoon, voidaan rakentaa sellainen syvä arkkitehtuuri, joka kykenee ilmaisemaan monimutkaisia hypoteeseja. (Ravi ym., 2017). Syväoppimisen ilmaantuminen ja sen voitto koneoppimisen menetelmistä on mahdollistanut erilaisten sovellusten käyttämistä diabeteksen aiheuttamien silmäsairauksien diagnosointiin.

Yhteenvedona voidaan todeta, että koneoppiminen, neuroverkot ja syväoppiminen ovat kaikki yhteydessä toistensa kanssa ja riippuvaisia toistensa olemassaolosta. Tekoälyn määritelmään nämä käsitteet liittyvät olennaisesti ja ilman niiden läsnäoloa tietyssä sovellutuksessa, tekoäly termiä on haastava

käyttää. Seuraavassa luvussa tarkastellaan tekoälyn hyödyntämistä terveydenhuollon parissa edellä läpi käytyjen teknologioiden kautta.

### 3 Tekoäly terveydenhuollossa

Tämä sisältöluke tulee käsittelemään tekoälyä terveydenhuollossa diagnostiikan työkaluna sekä yleisesti terveydenhuollon työkaluna. Sisältöluke pitää sisällään tekoälyn historiaa terveydenhuollossa sekä nykyisiä funktioita ja käyttö-tarkoituksia. Sisältöluvun tarkoituksena on antaa mahdollisimman kattava kuva tekoälyn käyttämisestä työkaluna terveydenhuollossa.

Koneoppimisalgoritmit suunniteltiin alusta alkaen analysoimaan lääketieteellisiä aineistoja, joten voidaan sanoa, että tekoäly ja terveydenhuolto ovat olleet toisiinsa linkittyneenä pidemmän aikaa (Kononenko, 2001). Tekoälyn sovellutukset terveydenhuollossa ovat suunniteltu tukemaan terveydenhuollon työntekijöitä jokapäiväisissä tehtävissään (Ramesh ym., 2004). Tekoäly termiä voidaan soveltaa moniin lääketieteen ryhmiin, kuten esimerkiksi robotiikka, diagnostiikka, statistiikka sekä ihmisten biologiaan (Hamet & Tremblay, 2017).

Liu & Tang väittävät tutkimuksessaan, että tekoäly voi parantaa huomattavasti lääketieteellisen datan mittauksien sekä analysoinnin automaatiota. Tämä nopeuttaa, parantaa sekä vähentää ihmisen työhön osallistumisen tarvetta ja mielivaltaisuutta (Liu & Tang, 2018). Hamet & Tremblay (2017) esittävät, että tekoälyllä lääketieteessä on virtuaalinen haara, joka sisältää useita funktioita. Näitä ovat esimerkiksi tiedonhallintajärjestelmät, terveydenhallintajärjestelmät sekä lääkäreiden päätöksien tukeminen. (Hamet & Tremblay, 2017). Tekoälyn avulla voidaan optimoida kliinisiä tutkimuksia sekä kokeita ja näin ollen vähentää kustannuksia sekä byrokratiaa tiivistämällä yksityiskohtaisesti tutkimustietoja (Kantarjian & Yu, 2015). Viime vuosina valtaviin tietojoukkojen saatavuus ja grafiikkasuorituksen tarjoama laskentateho on motivoinut kehittää syväoppimiseen liittyviä algoritmeja, jotka ovat osoittaneet erinomaista suorituskykyä esimerkiksi konenäön parissa (Asiri, Hussain, Adel & Alzaidi, 2019).

Tekoälyn tutkimus itsessään voi edistää lääketieteellisiä käytäntöjä ja niiden opetusta, koska siinä painotetaan vahvasti tuomitsevan tiedon hyödyntämistä monimutkaisten ongelmien ratkaisuun (Shortliffe, Axline, Buchanan, Merigan & Cohen, 1973). Hamet & Tremblay väittävät, että tekoäly on lisännyt geneettisiä sekä molekulaarisia löydöksiä, jotka pohjautuvat algoritmeihin ja tiedonhallintaan. Tekoälyä voidaan käyttää lääketieteessä sääntöjen löytämiseksi laajamittaisten sairaushistoriatietojen perusteella, mikä antaa tulevien tautien ehkäisyyn ja torjuntaan huomattavasti tukea terveydenhuollossa (Liu & Tang, 2018.) Lisääntyvien potilastapausten takia tekoäly ei ainoastaan rikastuta systemaattista tietoa vaan myös kerää sekä analysoi tätä tietoa automaattisesti ja näin parantaa lääketieteen tasoa. (Liu & Tang, 2018). Tekoälyllä on merkittävää potentiaalia hyödyntää isoja tietojoukkoja, jonka avulla voidaan tehdä parempia diagnoosi sekä hoitoennusteita. (Ramesh ym., 2004). Tekoäly mahdollistaa kuvioiden ja mallien tunnistaminen monimutkaisten tietojoukkojen seasta, joita ei voida havaita tavanomaisilla lineaarisilla tilastoanalyysillä. (Bottaci ym., 1997).



Taudin segmentoimisen jälkeen lääkäreiden diagnostisen puolen työtä helpottaa esimerkiksi kuvan tunnistamiseen perustuva tekoäly (Sengupta ym., 2020).

### 3.1 Tekoäly diagnostiikan työkaluna

Tekoäly terveydenhuollossa voi tarjota kattavasti sekä tehokkaasti tietoa lääkäreille, jonka kautta saadaan luotettava ja tieteellinen perusta diagnooseille kuin myös sairauksien hoitoon (Liu & Tang, 2018). Yksi eniten käytetyistä tekoäly työkaluista terveydenhuollon saralla on tällä hetkellä kuvantunnistamiseen kehitetty tekoäly. Neuroverkkoihin perustuvalla tekoälyllä kesti yhdessä tutkimuksessa 27 sekuntia 1118 testikuvan analysointiin ja näistä se pystyi diagnosoimaan oikein ruokatorven syöpätapaukset 98 prosentilla tarkkuudella (Horie ym., 2018). Neuroverkoille antamalla säännöt tarkkailla epäsymmetrioita, reunoja, värejä sekä halkaisijaa, kykeni se tekemään 97 prosentilla tarkkuudella ihosyöpään liittyvän diagnoosin (Zhang ym., 2019). Koneoppimiseen pohjautuva teknologia sopii siis erittäin hyvin analysoimaan lääketieteellistä dataa (Kononenko, 2001). Kliinisestä näkökulmasta voidaan automaattisia diagnoosimenetelmiä käyttää tukivälineenä terveydenhuollon organisaatioille sekä lääkärit voivat näin paremmin ja tarkemmin diagnosoida sairauksia (Sengupta ym., 2020).

Neuroverkkoihin pohjautuva tekoäly kykeni ennustamaan lopputuloksen yksittäiselle paksusuolen syöpää sairastavalle potilaalle tarkemmin, kuin tällä hetkellä saatavilla olevat kliiniset patologiset menetelmät. (Bottaci ym., 1997). Diabeettinen retinopatia on yksi sokeutumisen tärkeimmistä syistä työikäisen väestön keskuudessa ja se on yksi pelätyimmistä diabeteksen komplikaatioista (Asiri ym., 2019). Syväoppimisen ilmaantuminen ja sen voitto koneoppimisen menetelmistä on mahdollistanut erilaisten sovellusten käyttämistä diabeteksen aiheuttamien silmäsairauksien diagnosointiin. Asiri ym., (2019) esittävät tutkimuksessaan, että syväoppimiseen perustuvat diagnostiikan sovellutukset ovat perinteisiä menetelmiä parempia diabeteksen aiheuttamien silmäsairauksien diagnosointiin. Tutkimuksen mukaan, syväoppimiseen perustuva järjestelmä on merkittävästi tarkempi, kuin perinteiset menetelmät (Asiri ym., 2019).

Viime vuosina Parkinsonin tautia sairastavien ihmisten määrä on kasvanut huomattavasti. Tämä on osoittautunut yhdeksi maailman suurimmista terveysongelmista nykypäivänä. Tekoälyn sekä koneoppimisen avulla on saatu erittäin lupaavia tuloksia Parkinsonin taudin varhaisen vaiheen havaitsemisessa, ja näistä on syntynyt perustavanlaatuinen työkalu taudin hoitamisessa (Clayton ym., 2018). Lorencin, Andelic, Spanjol & Car (2019) toteavat tutkimuksessaan,

että monikerroksiseen perseptroniin perustuva diagnostinen menetelmä auttaa merkittävästi parantamaan virtsarakon syövän löytämisessä ja tämä tehostaa kyseistä prosessia merkittävästi. Suorittamansa tutkimuksen tuloksien perusteella he päättelivät, että menetelmässä on mahdollista käyttää useita monikerroksisia perseptroneja rinnakkain menetelmän tehostamiseksi (Lorencin ym., 2019).

### 3.2 Tekoälyn terveydenhuollon työkaluna

Tekoälyä hyödynnetään myös muilla keinoin terveydenhuollon piirissä, kuin pelkästään sairauksien diagnosoimiseen. Tekoäly kykenee tuottamaan tietoa sekä hoitavalle osapuolelle että hoidettavalla osapuolelle niistä tietyistä tekijöistä, jotka voivat vaikuttaa heidän verenpaineen hallintaansa. (Krittawong ym., 2018). Duch, Swaminathan & Meller (2007) esittävät tutkimuksessaan, että jo nyt monet tulokset osoittavat laskentaan perustuvat neuroverkot ovat välttämättömiä lääkesuunnittelussa sekä myös kliinisissä arvioissa. Tiettyjen sairauksien tarkat diagnoosit vaativat yleensä koko potilaan terveystietojen läpikäymistä. Huolimatta edistysaskelista diagnostiikan parissa, moni alan ammattilainen joutuu tekemään edelleen tarkkoja analysointeja saadakseen tarkan tautiluokituksen selville. Bruno, Calimeri, Kitanidis & Momi (2020) esittävät tutkimuksessaan, että tämä johtaa huomattaviin ponnisteluihin sekä kustannusten kasvamiseen. Tutkimuksen mukaan erilaisten syväoppimiseen perustuvien tietojen visualisointitekniikoiden avulla näitä kustannuksia ja ponnisteluja pystytään vähentämään ja metodien avulla saadaan diagnoosin tarkkuudeksi 91-99 prosenttia (Bruno ym., 2020). Syväoppimiseen perustuvassa metodissa järjestelmälle syötetään tietoa geenien ilmentymistä soluissa tai kudoksessa sekä kliinistä potilaalta saatua terveystietoa pohjautuvaa dataa (Bruno ym., 2020).

Tekoälyn avulla myös sairauksien ymmärtäminen ja tätä kautta niiden hoitaminen on helpompaa. Fontenla-Romero, Guijarro-Berdinas, Alonso-Betanzos & Moret-Bonillo (2005) esittävät tutkimuksessaan, että neuroverkkoihin perustuvalla tekoälyllä pystytään määrittelemään uniapnean kolme eri luokitusta tarkasti. Näiden luokitusten avulla tutkijoiden mukaan uniapnean hoitamista voidaan parantaa, kun ymmärrys sen toiminnasta lisääntyy (Fontenla-Romero ym., 2005).

Yhteenvedon voidaan todeta, että tekoälyyn pohjautuvia sovellutuksia löytyy sekä diagnostiikan, että muun terveydenhuollon prosessien parista useita. Tekoälyllä pyritään terveydenhuollon parissa parantamaan erityisesti diagnostiikkaan liittyviä ongelmia ja hankkimaan lisää ymmärrystä esimerkiksi sairauksien ennustamisesta sekä hoitamisesta. Tekoäly toimii tällä hetkellä kuitenkin enemmän apuvälineenä terveydenhuollon piirissä, kuin itsenäisenä toimijana. 2



## 4 Yhteenveto

Tässä kirjallisuuskatsauksessa oli tarkoituksena perehtyä siihen miten tekoälyä hyödynnetään terveydenhuollon parissa. Tutkimuskysymyksenä toimi ”Miten tekoälyä hyödynnetään terveydenhuollossa?” Tutkimuksessa käsiteltiin aiheeseen lähdettiin tutustumaan luvussa kaksi. Luvussa käsiteltiin tekoälyn historiaa, määritelmiä ja kehitystä. Luvussa käsiteltiin myös siihen olennaisesti liittyvät käsitteet koneoppiminen, neuroverkot ja syväoppiminen.

Tekoälyllä on useita erilaisia määritelmiä ja tästä syystä tieteellisessä kirjallisuudessa sille ei ole muodostunut varsinaista konsensusta määritelmän tasolla. Kuitenkin voidaan todeta, että tekoälyn kehitykseen ja käyttämiseen liittyy olennaisesti ihmisen kognitiivisen toiminnan imitoiminen. Tekoälyn kautta vuorovaikutuksessa tutkijat pyrkivät ymmärtämään ihmisen aivojen toimintaa ja mallintamaan sitä digitaaliseen muotoon. Tässä kontekstissa kehitettyjä sovellutuksia on jo merkittäviä määriä erilaisilla toimialoilla ja niiden määrä kasvaa lähes eksponentiaalisesti nykypäivänä. Tekoälyn kehitys on muutaman viimeisen vuosikymmenen aikana ollut erittäin nopeaa, koska sen on mahdollistanut tietotekniikan parissa tapahtuneet merkittävät edistysaskeleet. Kuitenkin voidaan todeta, että tekoälyn sovellutuksia ja siihen olennaisesti liittyviä matemaattisia malleja on ollut jo ensimmäisten tietokoneiden aikakaudelta asti. Tekoälyn nopeaa kehitystä on myös vauhdittanut kyseisen alan tutkimus ja tieteellinen työ, joka on saanut uudelleen rahoitusta 2000-luvulla useissa paikoissa maailmaa.

Koneoppiminen, neuroverkot ja syväoppiminen ovat tekoälyyn olennaisesti liittyviä teknologioita ja sovellutuksia. Ilman näiden läsnäoloa tekoälystä ei voida puhua ja sellaiseksi jotain tiettyä sovellutusta ei voi määritellä. Koneoppimiseen sekä neuroverkkoihin liittyy pitkä yhteinen historia ja näiden kahden sovellutuksen yhdistyminen on mahdollistanut tekoälyn kehittymisen sen nykyiseen muotoonsa. Syväoppiminen on koneoppimisen uusi haara, joka pyrkii hyödyntämään useita eri neuroverkkoja samanaikaisesti. Tämän avulla tekoälyyn saadaan merkittävä arkkitehtuurinen etu verrattuna perinteisiin koneoppimisen malleihin, jotka perustuvat vain yksinkertaisiin neuroverkkoihin. Laskentatehon kasvaessa on myös mahdollista käyttää entistä monimutkaisempia neuroverkkoja ratkaisemaan kompleksisia ongelmia eri toimialoilla.

Apukysymyksenä tutkimukselle oli ”Mitä tekoäly sovellutuksia käytetään terveydenhuollossa?” Kolmannessa luvussa käsiteltiin tekoälyn käyttämistä terveydenhuollon parissa. Tekoälyn käyttämistä tarkasteltiin kahdesta eri näkökulmasta, jotka olivat diagnostiikka ja terveydenhuollon työkalu. Diagnostiikan puolella tekoäly on nykypäivänä erittäin laajalti käytössä. Tutkimus osoitti sen, että tekoälylle löytyy useita eri sovellutuskohteita, joissa se kykenee ratkaisemaan monimutkaisia diagnostisia ongelmia. Tekoäly tehostaa merkittävästi monia eri prosesseja ja vähentää näin työn määrällisiä vaatimuksia terveydenhuollon piirissä. Tekoälyllä nähdään myös olevan merkittävä osuus diagnoosien tarkkuuden tehostumisessa sekä niiden luotettavuuden kasvussa. Tutkimus osoitti, että tekoäly kykenee tekemään tarkempia diagnooseja tietyissä tilanteissa jo nyt,

mihin ihminen tai perinteinen diagnostinen menetelmä kykenee. Tekoälyn avulla esimerkiksi kuvantunnistaminen on ottanut merkittäviä kehitysaskelaita ja esimerkiksi tiettyjen syöpäsairauksien diagnosoinnin osalta paluuta niin sanottuihin perinteisiin menetelmiin ei enää ole. Tekoälyn avulla on pystytty myös parantamaan diabetekseen liittyvien silmäsairauksien diagnostiikkaa ja näin myös parantamaan kyseisten sairauksien hoitoennustetta.

Yleisesti tekoälyä käytetään myös työkaluna terveydenhuollon parissa. Tutkimus osoitti, että tekoälyllä on merkittävä rooli esimerkiksi sairauksien ennustamisessa. Tekoäly kykenee jo tänä päivänä käymään merkittäviä määriä datajoukkoja läpi perustuen terveydenhuollolta saatuun potilashistoriaan. Näiden datajoukkojen keskeltä se kykenee löytämään poikkeavuuksia sekä keskimääriä arvoja, joiden perusteella sairauksien ennustaminen tehostuu ja tarkentuu merkittävästi. Isojen datamäärien käsittely myös vähentää terveydenhuollon organisaatiossa toimivien ihmisten työmäärää, täten tehostaen myös organisaation toimintaa. Tekoäly kykenee myös nykyisin olemaan tehokas apuväline lääkekehityksessä ja monessa suhteessa se on myös nykypäivänä välttämätön apuväline kyseisellä alalla. Terveydenhuollon parissa tekoäly mahdollistaa myös aikaisempaa paremman keinon potilaille seurata omaa sairauttaan ja näin myös vähentää painetta terveydenhuollon resursseilta. Tekoäly kykenee tekemään pitkäaikaista seuranta potilaan kanssa ja tulevaisuudessa monessa suhteessa tekoälyä pidetään yhtenä merkittävän apuvälineenä potilaan itsenäisen terveyden hoitamisessa.

Tämän kirjallisuuskatsauksen motiivi on ollut tarjota yleiskuva tekoälystä ja sen käyttämisestä terveydenhuollon piirissä. Tavoitteena on ollut tarjota lukijalle tiivis sekä kattava kuvaus aiheesta ja siihen liittyneestä näkökulmasta. Tutkimuksen tavoitteena on ollut myös lisätä tekoälyyn liittyvää tietoisuutta terveydenhuollon parissa toimivien ihmisten keskuudessa ja näin auttaa sen implementoimisessa. Kirjallisuuskatsauksen sekä kandidaatintutkielman luonteesta johtuen, tutkimus ei ole tarkastellut tekoälyyn liittyviä tekijöitä ja menetelmiä spesifisti. Terveydenhuollon parissa käytössä olevat menetelmät ovat myös kuvattu yleisesti hyödyn näkökulmasta, eikä tutkimuksen tarkoituksena ole ollut perehtyä mahdollisiin ongelmiin tai eettisiin kysymyksiin. Tutkimuksen tarkoituksena ei ole myöskään ollut kuvata terveydenhuollon parissa olevia tekoälysovellutuksia spesifisti. Tutkimuksen kirjoittamisen aikana on mahdollisesti julkaistu uusia tutkimuksia eikä kaikkia olennaisia tutkimuksia ole välttämättä otettu huomioon.

Tekoälyllä on teknologian mittakaavassa pitkä historia ja varsinkin nykypäivänä on sen tutkimus kasvanut merkittävästi. Erityisesti terveydenhuoltoon sekä lääketieteeseen liittyvissä asioissa tekoälyn hyödyntämistä tutkitaan paljon. Kuitenkin on vielä paljon erilaisia tekijöitä, joista riittää tutkimusta ja mitkä olisi syytä ottaa huomioon. Tekoälyn käyttämisen eettisyyteen ja sen tekemien virheidensä tutkiminen ovat tästä esimerkkeinä. Jatkotutkimusaiheita on useita, mutta niistä selkeimmät ovat tekoälyyn liittyvät eettiset ongelmat esimerkiksi päätöksenteon osalta. Tutkimusaiheena voisi olla esimerkiksi ”Tekoälyn käyttämisen

etiikka ja vastuu sairauden hoitamisessa" tai "Tekoälyn tekemän päätöksen etiikka ja vastuu".

## LÄHTEET

- Ahmad, A. (2017). Brain inspired cognitive artificial intelligence for knowledge extraction and intelligent instrumentation system. *Teoksessa 2017 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*. Yogyakarta, Indonesia, August 17-19, 2017.
- Asiri, N., Hussain, M., Adel, F. A., & Alzaidi, N. (2019). Deep Learning based Computer-Aided Diagnosis Systems For Diabetic Retinopathy: A Survey. *Artificial Intelligence in Medicine*, 99(10170), 1-20.
- Awodele, O. & Jegede, O. (2009). Neural Networks and Its Application in Engineering. *Teoksessa Proceedings of Informing Science & IT Education Conference 2009 vol. IX (83-95)*, Macon, United States, Jun 12-15, 2009.
- Borana, J. (2016). Applications of Artificial Intelligence & Associated Technologies. *Teoksessa Proceeding of International Conference on Emerging Technologies in Engineering, Biomedical, Management and Science [ETEBMS-2016]*, Jodhpur, India, March 5-6, 2016.
- Bottaci, L., Drew, P. J., Hartley, J. E., Hadfield, M. B., Farouk R., Lee, P. W., Macintyre, I., Duthie, G. & Monson, J. R. (1997). Artificial neural networks applied to outcome prediction for colorectal cancer patients in separate institutions. *The Lancet*, 350(9076), 469-472.
- Bruno, P., Calimeri, F., Kitanidis, A., Momi, E. (2020). Data reduction and Data Visualization for Automatic Diagnosis using Gene Expression and Clinical Data. *Artificial Intelligence in Medicine*, 107(101884).
- Buchanan, B. G. (2005). A (Very) Brief History of Artificial Intelligence. *AI Magazine*, 26(4), 53.
- Clayton, P., Danilo P., Weber, S., Hook, S., Albuquerque, C., Hugo, V., & Joao, P. (2018). A Survey on computer-assisted Parkinson's Disease diagnosis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 95, 48-63.
- Dayhoff, J. & DeLeo, J. (1999) Artificial Neural Networks: Opening the Black Box. *Teoksessa Conference on Prognostic Factors and Staging in Cancer Management: Contributions of Artificial Neural Networks and Other Statistical Methods*. Arlington, Virginia, September 27-28, 1999.
- Duch, W., Swaminathan, K., & Meller, J. (2007.) Artificial Intelligence Approaches for Rational Drug Design and Discovery. *Current Pharmaceutical Design*, 13(14), 1497-1508.
- Fontenla-Romero, O., Guijarro-Berdinas, B., Alonso-Betanzos, A., & Moret-Bonillo, V. (2005). A new method for sleep apnea classification using

wavelets and feedforward neural networks. *Artificial Intelligence in Medicine*, 34(1), 65-76

- Genesereth, M. & Nilsson, N. (1987) *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- Haenlein, M. & Kaplan, A. (2019). A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. *California Management Review*, 61(4), 5-14.
- Hamet, P., & Tremblay, J. (2017). Artificial Intelligence in medicine. *Metabolism*, 69, 36-40
- Hassabis, D. (2017). Artificial Intelligence: Chess match of the century. *Nature*, 544(7651), 413-414.
- Illingworth, W.T. (1989). Beginner's guide to neural networks. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 4(9), 44-49.
- Kaelbling, L. P., Littman, M. L., Moore, A. W. Moore (1996). Reinforcement Learning: A Survey. *Journal Of Artificial Intelligence Research* 4, 237-285.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú , F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.
- Kantarjian, H. & Yu, P.P. (2015). Artificial Intelligence, Big Data, and Cancer. *JAMA Oncology*, 1(5), 573.
- Kononenko, I. (2001). Machine Learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective. *Artificial Intelligence in Medicine*, 23(1), 89-109.
- Krittanawong, C., Bomback, A. S., Baber, U., Bangalore, S., Messerli, F. H., & Wilson Tang, W. H. (2018). Future Direction for Using Artificial Intelligence to Predict and Manage Hypertension. *Current Hypertension Reports*, 20(9), 75.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.2
- Lorencin, I., Andelic, N., Spanjol, J. & Car, Z. (2019) Using multi-layer perceptron with Laplacian edge detector for bladder cancer diagnosis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 102(101746).
- Liu, Y., & Tang, P. (2018). The Prospect for the Application of the Surgical Navigation System Based on Artificial Intelligence and Augmented Reality. Teoksessa 2018 *IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*. Taichung, Taiwan, Taiwan, January 17, 2019.



- Luger, G. F. (2005). *Artificial intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. (5. uud. painos). Harlow: Pearson Education Limited.
- Lupo, J. C. (1989). Defense Applications of neural networks. *IEEE Communications Magazine*, 27(11), 82-88.
- Maglogiannis, G. I. (2007). *Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering*, Amsterdam: IOS Press.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115-133.
- Nilsson, N. J. (1980). *Principles of Artificial Intelligence*. Palo Alto: Tioga Publishing Company.
- Parmar, C., Grossmann, P., Bussink, J., Lambin, P., & Aerts, H. J. W. L. (2015). Machine Learning methods for Quantitative Radiomic Biomarkers. *Scientific Reports*, 5(13087).
- Patel, V. L., Shortliffe, E. H., Stefanelli, M., Szolovits, P., Berthold, M. R., Bellazzi, R., & Abu-Hanna, A. (2009). The Coming of age of artificial intelligence in medicine. *Artificial Intelligence in Medicine*, 46(1), 5-17.
- Patterson, D. (1990). *Introduction to artificial intelligence and expert systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall Inc.
- Pinar Saygin, A., Cicekli, I., & Akman, V. (2000). Turing Test: 50 Years Later. *Minds and Machines*, 10(4), 463-518.
- Ramesh, A., Kambhampati, C., Monson, J., & Drew, P. (2004). Artificial intelligence in medicine. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 86(5), 334-338.
- Ravi, D., Wong, C., Deligianni, F., Berhelot, M., Andreu-Perez, J., Lo, B., & Yang, G.-Z. (2017) Deep Learning for Health informatics. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21(1), 4-21
- Saxén, H., & Pettersson, F. (2006). Method for the selection of inputs and structure of feedforward neural networks. *Computers & Chemical Engineering*, 30(6-7), 1038-1045.
- Sengupta, S., Singh, A., Leopold, H., Gulati, T., Lakshminarayanan, V. (2020) Ophthalmic diagnosis using deep learning with fundus images- A critical review, *Artificial Intelligence in Medicine*, 102(101758).
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85-117

- Shortliffe, E. H., Axline, S. G., Buchanan, B. G., Merigan, T. C., & Cohen, S. N. (1973). An artificial Intelligence program to advise physicians regarding antimicrobial therapy. *Computers and Biomedical Research*, 6(6), 544-560.
- Szepesvári, C. (2010). Algorithms for Reinforcement Learning. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, 4(1), 1-103.
- Turing, A. (1950). Computing Machinery and Intelligence, *Mind* 59(236), 433-460.
- Vakharia, V., Gupta, V.K & Kankar, P.K. (2014). Ball Bearing Fault Diagnosis Using Supervised and Unsupervised Machine Learning Methods. *International Journal Of Acoustics and Vibration*, 20(4), 244-250.2
- Visvikis, D., Cheze Le Rest, C., Jaouen, V., & Hatt, M. (2019). Artificial intelligence, machine (deep) learning and radio(geno)mics: definitions and nuclear medicine imaging applications. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 46, 2630-2637.
- Voyant, C., Notton, G., Kalogirou, S., Niver, M.-L., Paoli, C., Motte, F., & Fouilloy, A. (2017). Machine Learning methods for solar radiation forecasting: A review. *Renewable Energy*, 105, 569-582.
- Xian, L. (2010). Artificial Intelligence and modern sports education technology. Teoksessa 2010 *International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE)*, Hangzhou, China, October 29-30, 2010.
- Zadeh, L. A. (1991). Fuzzy logic: principles, applications, and perspectives. *Applications of Artificial Intelligence* 1468(9), 582.
- Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*, 21(4), 83-93.